

弯、直蔗剥叶质量影响因素的试验

杨 坚¹, 黄丽丽², 杨 望¹, 梁兆新³, 莫建霖³

(1. 广西大学机械工程学院, 南宁 530004; 2. 广西玉柴专用汽车有限公司, 南宁 530003;
3. 广西农业机械研究院, 南宁 530001)

摘 要: 采用二次通用旋转组合设计、数理统计分析方法及计算机优化技术, 以直、弯蔗为研究对象, 对影响剥叶质量的主要因素进行室内模拟剥叶试验, 建立相应的数学模型, 研究各因素及交互作用对剥叶质量的影响规律及机理, 同时对甘蔗剥叶机剥叶质量影响因素进行了优化。结果表明, 试验的各因素对直蔗和弯蔗剥叶质量影响规律存在较大的差异, 试验因素的综合优化结果能有效提高剥叶质量, 直蔗含杂率和折断率分别为 0~0.78% 和 0~8.43%, 弯蔗含杂率和折断率分别为 0~0.5% 和 0~18%。

关键词: 含杂率, 数学模型, 优化, 甘蔗剥叶机, 折断率
中图分类号: S225.5⁺3 **文献标识码:** A

文章编号: 1002-6819(2009)-4-0123-07

杨 坚, 黄丽丽, 杨 望, 等. 弯、直蔗剥叶质量影响因素的试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 123-129.
Yang Jian, Huang Lili, Yang Wang, et al. Experiment on the factors affecting the detriashing quality of the straight and bending sugarcane[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(4): 123-129. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

目前甘蔗剥叶机的研究主要集中在采用物理试验方法、数理统计方法及计算机仿真技术、高速摄像技术研究甘蔗剥叶机理、各影响因素对甘蔗剥叶质量的影响规律及剥叶元件的寿命、剥叶机构设计等方面, 取得了较多的研究成果^[1-10]。但针对弯蔗剥叶含杂率和弯、直蔗折断率影响规律的研究鲜见报导。实际甘蔗倒伏较多, 有些田块弯蔗占的比例高达 30% 以上, 而用现有的甘蔗剥叶机剥叶时甘蔗含杂率和折断率较高, 因此, 以直蔗、弯蔗为研究对象, 对影响甘蔗剥叶质量的主要因素进行物理模拟试验及对相应的影响机理进行动态仿真, 研究直蔗、弯蔗剥叶质量的影响规律及影响机理, 进行影响因素优化, 获取因素的优化组合, 对提高剥叶装置的综合剥叶性能具有重要的意义。

1 材料与设备

1.1 试验材料

试验用的甘蔗材料为广西甘蔗研究所种植的“桂糖 17”, 其倒伏率为 20%, 平均高度为 2265.6 mm, 平均直径为 23.73 mm, 蔗叶含水率为 29.5%, 茎叶比约为 1:0.04。直蔗和弯蔗的形状如图 1 所示, 其中, 弯蔗的弯曲度 $h/L=0.05\sim 0.19$ 。

1.2 试验装置

试验装置采用广西农业机械研究院研制的甘蔗剥叶试验台, 其结构简图如图 2 所示, 其中, a 为输出辊与剥叶滚筒中心的水平距离, 可调; b 为输入辊与剥叶滚筒中

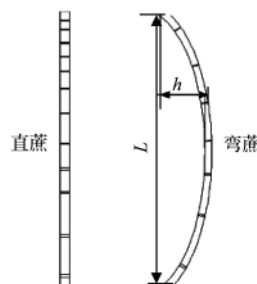
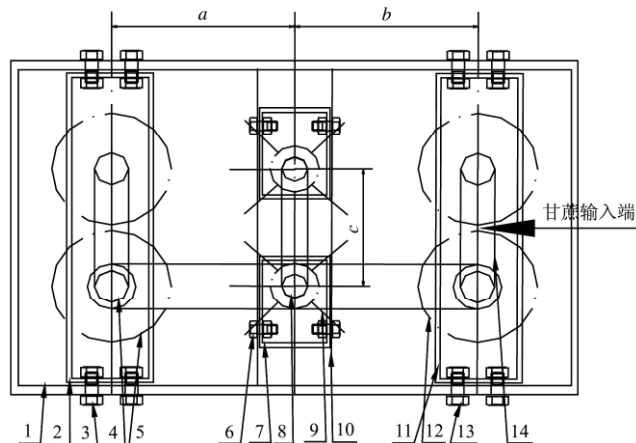


图 1 直蔗和弯蔗形状图
Fig.1 Shape of straight and bending sugarcane



1、10.机架 2.输出辊架 3、6、13.定位螺栓 4、8.动力输入齿轮 5.输出辊 7.剥叶滚筒架 9.剥叶元件 11.输入辊 12.输入辊架 14.链条

图 2 试验台结构示意图
Fig.2 Scheme of sugarcane detriashing test-bed structure

收稿日期: 2008-05-28 修订日期: 2009-01-07
基金项目: 广西自然科学基金项目 (0575037)
作者简介: 杨 坚 (1957-), 男, 广西人, 教授, 主要从事农业机械设计及性能优化研究。广西南宁大学路 100 号 广西大学东校园 6733 信箱, 530004. Email: yangkokok@gxu.edu.cn

心的水平距离 (简称输入辊距离), 可调; c 为上下剥叶滚筒中心的垂直距离, 可调。剥叶元件采用广西南宁拖拉机厂生产的耐磨橡胶叶片 (使用寿命约为 100 t), 共取 12 片, 对称安装在上下剥叶滚筒上; 剥叶滚筒由直流调

速电机驱动；输入辊由调频电机驱动，同时带动输出辊转动。其工作过程为：甘蔗从输入端喂入，在输入辊的夹持推送下向前运动，经过剥叶滚筒时，在旋转高速剥叶元件的打击、摩擦梳刷和牵扯作用下蔗叶被剥离并向后抛落，这时蔗茎在输出辊的推送作用下抛离剥叶机。

2 试验方案及结果

根据相关研究^[11-13]，选择剥叶元件交错深度（上、下剥叶滚筒橡胶叶片重叠长度） X_1 、剥叶滚筒转速 X_2 、输入辊距离 X_3 、输出辊转速 X_4 作为试验因素，用含杂率（剥叶后蔗茎上残余的蔗叶重量/剥叶后蔗茎重量×100%） Y 和折断率（剥叶后折断的甘蔗根数/总的甘蔗根数×100%） W 为试验指标，采用二次通用旋转组合设计方法（四因素 1/2 实施）安排试验，试验因素水平编码表如表 1 所示。试验时甘蔗一根一根喂入，每组 15 根甘蔗。试验方案与试验数据如表 2 所示。其中， Y_1 、 Y_2 分别表示直蔗和弯蔗的含杂率； W_1 、 W_2 分别表示直蔗和弯蔗的折断率。

表 1 因素水平编码表

Table 1 Coding of factors and levels of the experiment

因素水平	X_1/mm	$X_2/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	X_3/mm	$X_4/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$
上星号臂 (+1.68)	18	1000	290	350
上水平 (+1)	15	919	280	330
零水平 (0)	10	800	265	300
下水平 (-1)	5	681	250	270
下星号臂 (-1.68)	2	600	240	250
变化区间 (Δ_j)	5	119	15	30

表 2 试验方案与试验数据汇总

Table 2 Design and results of the experiment

试号	试验因素				试验数据/%			
	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_1	Y_2	W_1	W_2
1	-1	-1	-1	-1	0.59	0.43	6.67	30.00
2	-1	-1	1	1	0.73	0.19	13.3	40.00
3	-1	1	-1	1	0.54	0.31	6.67	30.00
4	-1	1	1	-1	0.60	0.47	0	10.00
5	1	-1	-1	1	1.00	0.53	13.3	25.00
6	1	-1	1	-1	0.47	0.50	0	25.00
7	1	1	-1	-1	0.87	0.40	26.7	62.50

表 3 回归方程及系数显著性检验

Table 3 Significance levels of regression equation and coefficient

项目	b_3	b_4	b_{11}	b_{22}	b_{33}	b_{44}	b_{12}	b_{14}	b_{23}	b_{24}	方程	标准差
y_1	0.022	0.108	/	0.144	0.022	0.124	/	/	/	/	0.064	0.29
y_2	/	0.068	/	/	/	/	0.119	0.073	/	0.029	0.055	0.11
w_1	0.004	0.001	/	0.016	0.004	/	0.004	0.006	/	0.004	0.003	4.15
w_2	0.078	/	0.004	0.054	/	0.003	0.004	0	0.129	/	0.007	9.31

注：表中 b_{ij} 是相应的回归方程中的相应回归系数，其下面的数字是相应的回归系数检验的显著性水平，无数据表示相应的回归系数不显著。方程列数据是相应方程检验的显著性水平。

4 动力学仿真

4.1 仿真模型的建立

采用 Pro/E 建立甘蔗剥叶机主要零部件的三维模型，在 Pro/E 中完成装配后，定义刚体，利用与 ADAMS 的接

8	1	1	1	1	0.91	0.54	13.3	37.50
9	-1.68	0	0	0	1.03	0.38	5.88	45.45
10	1.68	0	0	0	1.19	0.52	0	37.50
11	0	-1.68	0	0	1.52	0.17	6.67	0
12	0	1.68	0	0	0.48	0.65	6.67	11.11
13	0	0	-1.68	0	0.56	0.25	14.3	22.22
14	0	0	1.68	0	0.73	0.58	6.67	12.50
15	0	0	0	-1.68	0.51	0.26	0	37.50
16	0	0	0	1.68	1.20	0.52	0	12.50
17	0	0	0	0	1.57	0.51	0	37.50
18	0	0	0	0	1.55	0.37	0	25.00
19	0	0	0	0	0.90	0.36	6.67	12.50
20	0	0	0	0	0.82	0.33	0	25.00

3 回归分析

运用 SPSS 软件对试验数据进行回归分析处理，得试验指标与剥叶元件交错深度 X_1 、剥叶滚筒转速 X_2 、输入辊距离 X_3 、输出辊转速 X_4 关系的数学模型为：

$$\hat{y}_1 = -76.390 + 0.480X_3 + 0.09109X_4 - 6.555 \times 10^{-7} X_2^2 - 9.060 \times 10^{-4} X_3^2 - 1.445 \times 10^{-4} X_4^2 \quad (1)$$

$$\hat{y}_2 = 0.995 - 6.201 \times 10^{-3} X_4 - 9.027 \times 10^{-5} X_1 X_2 + 2.814 \times 10^{-4} X_1 X_4 + 4.819 \times 10^{-6} X_2 X_4 \quad (2)$$

$$\hat{w}_1 = 1092.409 - 9.285X_3 + 1.040X_4 + 7.109 \times 10^{-3} X_1 X_2 - 1.80 \times 10^{-2} X_1 X_4 - 1.03 \times 10^{-3} X_2 X_4 + 1.547 \times 10^{-4} X_2^2 + 1.715 \times 10^{-2} X_3^2 \quad (3)$$

$$\hat{w}_2 = 250.088 - 1.447X_3 + 1.647 \times 10^{-2} X_1 X_2 - 6.696 \times 10^{-2} X_1 X_4 + 1.494 \times 10^{-3} X_2 X_3 + 0.366X_1^2 - 3.354 \times 10^{-4} X_2^2 + 9.706 \times 10^{-4} X_4^2 \quad (4)$$

式中 \hat{y}_1 、 \hat{y}_2 ——分别表示直蔗含杂率和弯蔗含杂率回归值； \hat{w}_1 、 \hat{w}_2 ——分别表示直蔗折断率和弯蔗折断率回归值。对回归方程及其系数进行显著性检验，结果如表 3 所示。由表 3 可知，回归方程在 0.06~0.003 水平上高度显著，回归方程的各项系数也均达到不同程度的显著水平，表明回归数学模型拟合得较好。

口将零部件刚性化的装配模型导入 ADAMS；根据甘蔗、剥叶元件及输入辊、输出辊的实测尺寸，利用有限元分析软件 ANSYS 分别建立相应的有限元模型，使用 ADAMS 宏命令生成 ADAMS 中建立柔性体所需的模态中性文件(.MNF)，利用 ADAMS/Flex 模块将上述部件的

模态中性文件读入 ADAMS, 生成柔性体甘蔗、剥叶元件及柔性体输入辊、输出辊, 并替换相应的刚性体部件, 完成剥叶机虚拟样机建立 (甘蔗不考虑蔗叶, 建成光杆模型; 为了节省仿真时间, 上下剥叶滚筒各建一个叶片)。ANSYS 划分网格时, 输送辊单元长度设置为 10 mm, 甘蔗和剥叶元件的单元长度设置为 5 mm。材料属性及网格划分结果如表 4 所示。甘蔗剥叶过程的动态仿真过程图如图 3 所示。

表 4 主要部件材料属性及网格划分结果

Table 4 Material attribute and meshing results of main parts

属性	直 蔗	弯 蔗	剥叶元件	输送辊
单元类型	SOLID 185	SOLID 185	SOLID 185	SOLID 185
材料模型	线弹体	线弹体	线弹体	线弹体
弹性模量/MPa	1.172e3	1.172e3	2.8e3	3.0e4
泊松比	0.33	0.33	0.498	0.498
密度/kg · mm ⁻³	1.15e-6	1.15e-6	1.292e-6	1.3e-6
节点数	15238	17286	2211	2944
单元数	11600	13634	1176	1804

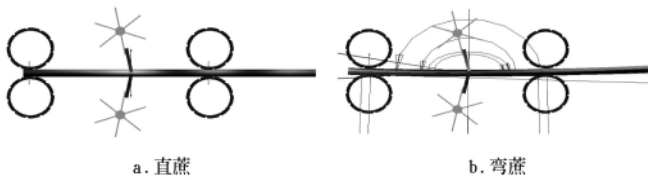


图 3 甘蔗剥叶过程的动态仿真截图

Fig.3 Fragment of the dynamic simulation of sugarcane detaching

4.2 仿真试验及结果

仿真试验各因素取 3 个值进行 (试验时, 其他因素取中间值), 结果如表 5、6 所示。其中, 表 5 是直蔗的仿真结果, 表 6 是弯蔗的仿真结果。 F_1 是上剥叶元件对甘蔗的作用力, F_2 是下剥叶元件对甘蔗的作用力, V 是甘蔗前移速度, ω 是甘蔗转动角速度, N 是剥叶元件对甘蔗的 1 个叶片的打击次数。

表 5 各单因素作用下直蔗的受力和运动状态

Table 5 Stress and motion of straight sugarcane under single factors

因素	因素取值	F_1/N	F_2/N	$V/mm \cdot s^{-1}$	$\omega/rad \cdot s^{-1}$	N
X_1	2	185.17	185.12	2198.35	0.03	4
	10	198.39	198.34	2194.53	0.02	4
	18	182.03	181.84	2198.17	0.02	4
X_2	600	192.90	192.82	2191.97	0.04	3
	750	196.76	196.79	2194.24	0.02	3
	1000	356.30	356.29	2191.69	0.22	4
X_3	240	198.38	198.75	2193.04	0.05	3
	270	200.41	200.45	2193.66	0.02	4
	290	207.01	207.13	2195.35	0.09	4
X_4	250	205.05	204.99	1827.91	0.01	4
	315	181.81	181.65	2303.72	0.04	4
	350	184.63	184.56	2559.60	0.05	4

表 6 各单因素作用下弯蔗的受力和运动状态

Table 6 Stress and motion of bending sugarcane under single factors

因素	因素取值	F_1/N	F_2/N	$V/mm \cdot s^{-1}$	$\omega/rad \cdot s^{-1}$	N
X_1	2	333.67	318.77	2294.27	1.99	4
	9	185.18	195.20	2246.43	1.53	4
	18	214.99	219.45	2208.47	1.73	4
X_2	600	190.24	188.11	2203.00	1.10	3
	850	260.28	203.02	2218.69	2.79	4
	1000	202.30	218.53	2217.99	1.38	4
X_3	240	197.14	308.28	2201.28	2.47	4
	265	185.18	195.20	2247.91	1.53	4
	290	198.12	189.43	2229.67	1.01	4
X_4	250	336.01	341.85	1849.32	1.07	4
	345	185.18	195.20	2247.91	1.53	4
	350	322.56	265.95	2560.50	1.67	4

5 因素影响分析

5.1 单因素影响分析

5.1.1 含杂率分析

运用 MathCAD 数理分析软件对式 (1)、(2) 进行计算机模拟计算 (作图时, 除要考虑的因素外, 其他因素取零水平值)^[14], 模拟结果如图 4 所示。图 4a~d 分别为含杂率与元件交错深度 X_1 、剥叶滚筒转速 X_2 、输入辊距离 X_3 、输出辊转速 X_4 的关系曲线图。

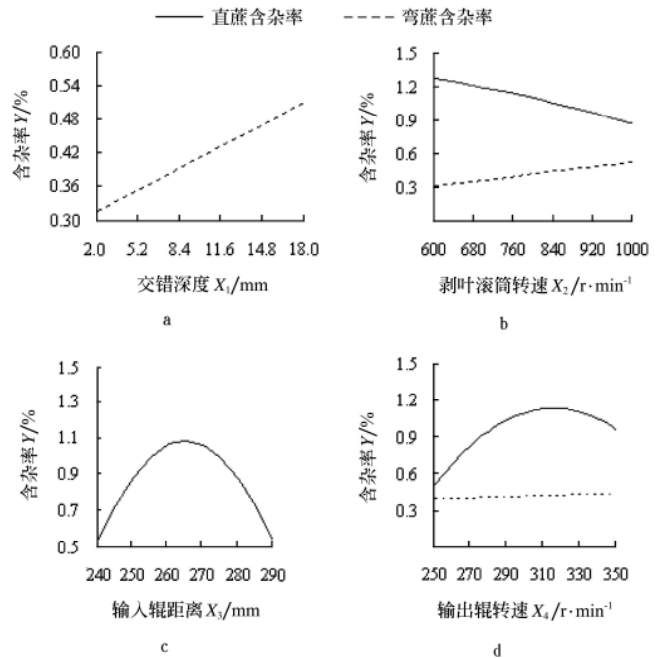


图 4 单因素与含杂率的关系曲线

Fig.4 Relationship curves of single factors and the impurity rate

由图4a可知, 弯蔗的含杂率 Y_2 随元件交错深度 X_1 的增大而成线性增大。由表6可知, 其原因是 X_1 增大时, 弯蔗受到的作用力和转动角速度变小, 蔗茎和蔗叶受到的摩擦梳刷作用减弱, 蔗茎表面各部位的蔗叶受到的梳刷机会和梳刷面积减少, 故 Y_2 增大。

由图4b可知,直蔗含杂率 Y_1 随剥叶滚筒转速 X_2 的增大而减小,增大 X_2 有利于降低 Y_1 。由表5可知,其原因是 X_2 增大时,剥叶元件对直蔗的作用强度和频率增大,蔗叶受到梳刷的次数增多,故 Y_1 减小。弯蔗含杂率 Y_2 随 X_2 的增大略有增大。

由图4c可知,直蔗含杂率 Y_1 与输入辊距离 X_3 呈上凸抛物线关系,随 X_3 的增大, Y_1 先增大后减小,且变化较大。由表5可知,其原因是 X_3 从240 mm增到270 mm时,剥叶元件对直蔗的作用力增幅不大,但直蔗转动角速度明显减小,剥叶元件打击梳刷蔗叶的面积减少,故 Y_1 增大。但当 X_3 继续增大时,直蔗的受力和转动角速度都增大,蔗叶受到的打击梳刷和摩擦牵扯作用增强、作用面积增加,故 Y_1 减小。

由图4d可知,直蔗含杂率 Y_1 与输出辊转速 X_4 呈上凸抛物线关系。随 X_4 的增大, Y_1 先增后减。由表5可知,其原因是 X_4 从250 r/min增到315 r/min时,剥叶元件对直蔗的作用力减小,虽然转动角速度加大,但前移速度也加大,故 Y_1 增大。但当 X_4 继续增大时,剥叶元件对直蔗的作用力增大,转动角速度继续增大,但前移速度也增大,综合结果 Y_1 略减小;弯蔗含杂率 Y_2 随 X_4 的增大基本不变。

5.1.2 折断率分析

对式(3)、(4)进行计算机模拟计算,得折断率与各因素的关系曲线(作图时,除要考虑的因素外,其他因素取零水平值),如图5所示。图5a~d分别为折断率 W 与元件交错深度 X_1 、剥叶滚筒转速 X_2 、输入辊距离 X_3 、输出辊转速 X_4 的关系曲线。

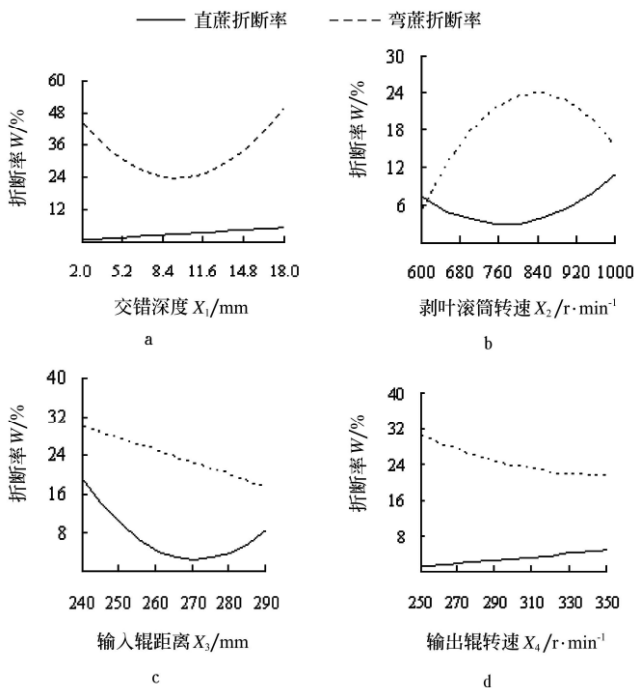


图5 单因素与折断率的关系曲线

Fig.5 Relationship curves of single factors and the rupture rate

由图5a可知,直蔗折断率 W_1 随 X_1 的增大而略增大。弯蔗折断率 W_2 与 X_1 呈下凹抛物线关系。随 X_1 的增大,

W_2 先减后增,且变化较大。由表6可知,其原因是 X_1 从2 mm增大到9 mm时,剥叶元件对弯蔗的作用力和弯蔗转动的角速度大幅减小,减少了被剥叶元件冲击打断或因四处窜动而卡折的机会,故 W_2 减小;但当 X_1 继续增大时,弯蔗的受力和转动角速度增大,故 W_2 又增大。

由图5b可知,直蔗折断率 W_1 与 X_2 呈下凹抛物线关系,随 X_2 的增大, W_1 先减后增。由表5可知,其原因是 X_2 从600 r/min增到750 r/min时,剥叶元件对直蔗的打击力虽略增,但这时蔗茎转动的角速度减小,直蔗上下左右窜动而卡折的机会减少,故 W_1 减小;但当 X_2 继续增大时,剥叶元件对直蔗的作用力达356.30 N,且蔗茎转动的角速度增大较多,直蔗被打断或卡折的机会增大, W_1 增大。弯蔗折断率 W_2 与 X_2 呈上凸抛物线关系,随 X_2 的增大, W_2 先增后减。由表6可知,其原因是 X_2 从600 r/min增到850 r/min时,弯蔗受力不平衡,且甘蔗转动角速度增大,弯蔗上下左右大幅度窜动而卡折的机会增加,故 W_2 增大;当 X_2 继续增大时,弯蔗受力的不平衡程度降低,转动角速度减小,故 W_2 又减小。

由图5c可知,直蔗折断率 W_1 与 X_3 呈下凹抛物线关系,随 X_3 的增大, W_1 先减后增。由表5可知,其原因是 X_3 从240 mm增到270 mm时,剥叶元件对直蔗的打击力变化不大,但蔗茎转动角速度减小,直蔗上下左右窜动与机身碰撞卡折的机会减少,故 W_1 减小较快;但当 X_3 继续增大时,直蔗的转动角速度明显增大,蔗茎窜出机身外卡折的机会增大,故 W_1 又增大。弯蔗折断率 W_2 随 X_3 的增大而减小。由表6可知,其原因是 X_3 增大时,弯蔗受到上、下剥叶元件作用力的不平衡程度减小,转动角速度减小,弯蔗被剥叶元件打断或因窜动而卡折的机会减少, W_2 减小。

由图5d可知,直蔗折断率 W_1 随 X_4 的增大而增大。由表5可知,其原因是 X_4 增大时,直蔗的前进速度和转动角速度增大,窜出机身外而卡折的机会增大。弯蔗折断率 W_2 随 X_4 的增大,先减后增,但变化较小。原因是 X_4 从250 r/min增到345 r/min时,上、下剥叶元件对弯蔗的作用力都减小较快,被打断的机会减少,但同时弯蔗转动角速度增大也较快,弯蔗四处窜动而卡折的机会增加,综合结果 W_2 随 X_4 增大略减小;当 X_4 继续增大时,剥叶元件对弯蔗的作用力又增大,且弯蔗转动角速度仍继续增大,故 W_2 又增大。

5.1.3 直蔗和弯蔗剥叶质量对比分析

由图4、图5可知,在相同的因素条件下,直蔗含杂率大于弯蔗含杂率,直蔗折断率小于弯蔗折断率。原因是在剥叶过程中,直蔗受到剥叶元件的作用力小于弯蔗的受力,且弯蔗受到上、下剥叶元件的作用力不平衡,导致弯蔗剥叶时获得的前进速度和转动角速度都大于直蔗。因此,弯蔗受到的冲击梳刷和摩擦牵扯的作用较强,蔗茎表面各部位受到梳刷的机会和面积较大,故含杂率较低,而弯蔗被剥叶元件打断或因四处窜动卡折的机会较大,故折断率较高。

5.2 因素交互作用影响分析

5.2.1 含杂率分析

对式 (2) 进行计算机模拟计算 (作图时, 除考虑的因素外, 其他因素取零水平值), 得弯蔗含杂率 Y_2 与各因素交互作用的关系图, 如图 6 所示。其中, 图 6a~c 分别为交错深度 X_1 与剥叶滚筒转速 X_2 、交错深度 X_1 与输出辊转速 X_4 、剥叶滚筒转速 X_2 与输送辊转速 X_4 的交互作用对弯蔗含杂率 Y_2 的影响图。

由图6a可知, X_1 较小时 Y_2 随 X_2 的增大而增大, X_1 较大

时 Y_2 随 X_2 的增大稍微减小; 小的 X_1 与小的 X_2 组合, Y_2 最小, 小的 X_1 与大的 X_2 组合, Y_2 最大。由图6b可知, X_1 较小时 Y_2 随 X_4 的增大而减小, X_1 较大时 Y_2 随 X_4 的增大而增大; 小的 X_1 与大的 X_4 组合, Y_2 最小, 大的 X_1 与大的 X_4 组合, Y_2 最大。由图6c可知, X_2 较小时 Y_2 随 X_4 的增大而减小, X_2 较大时 Y_2 随 X_4 的增大而增大; 小的 X_2 与大的 X_4 组合, Y_2 最小, 大的 X_2 与大的 X_4 组合, Y_2 最大。

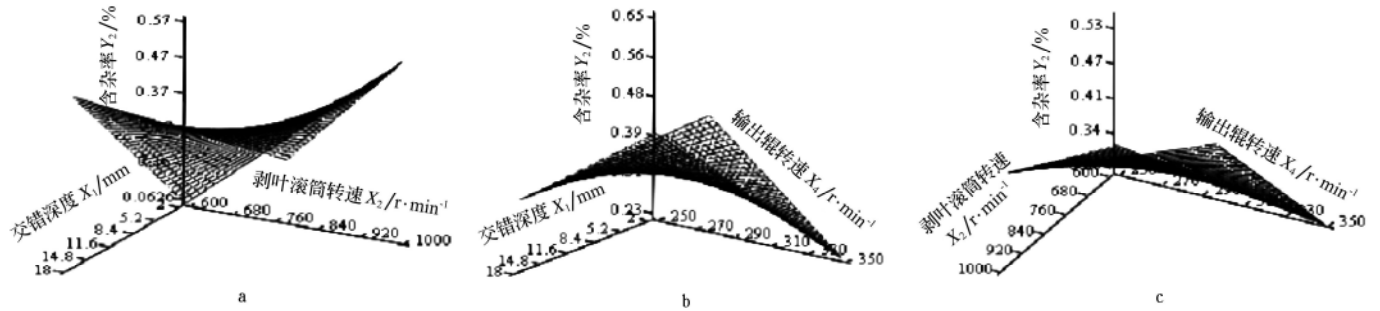


图6 因素交互作用对弯蔗含杂率的影响

Fig.6 Interactive effect curves of factors on the impurity rate of bending sugarcane

5.2.2 折断率分析

对式 (3)、(4) 进行计算机模拟计算, 结果如图 7 所示。其中, 图 7a~c 分别为交错深度 X_1 与剥叶滚筒转速 X_2 、交错深度 X_1 与输出辊转速 X_4 、剥叶辊转速 X_2 与输送辊转速 X_4 的交互作用对直蔗折断率 W_1 的影响图; 图 7d~f 分别为交错深度 X_1 与剥叶滚筒转速 X_2 、交错深度 X_1 与输出辊转速 X_4 、剥叶滚筒转速 X_2 与输入辊距离 X_3 的交互作用对弯蔗折断率 W_2 的影响图。

由图 7a 可知, X_1 较小时, W_1 随 X_2 的增大而减小, X_1 较大时, W_1 随 X_2 的增大而增大; 小的 X_1 与大的 X_2 组合、大的 X_1 与小的 X_2 组合, W_1 较小。由图 7b 可知, X_1 较小时 W_1 随 X_4 的增大而增大, X_1 较大时 W_1 随 X_4 的增大

而减小; 小的 X_1 与小的 X_4 组合, W_1 最小, 小的 X_1 与大的 X_4 组合、大的 X_1 与小的 X_4 组合, W_1 较大。由图 7c 可知, X_2 较小时 W_1 随 X_4 的增大而增大, X_2 较大时 W_1 随 X_4 的增大而减小; 小的 X_2 与小的 X_4 组合、大的 X_2 与大的 X_4 组合, W_1 较小。由图 7d 可知, X_1 较小时 W_2 随 X_2 的增大而减小, X_1 较大时 W_2 随 X_2 的增大而增大; 较小的 X_1 与大的 X_2 、或较大的 X_1 与小的 X_2 组合, 有利于降低 W_2 。由图 7e 可知, X_1 较小时 W_2 随 X_4 的增大而增大, X_1 较大时 W_2 随 X_4 的增大而减小; X_1 与 X_4 同时取相近水平值有利于降低 W_2 , 且两者同时取大值时 W_2 最小。由图 7f 可知, X_2 小时, W_2 随 X_3 的增大而快速减小; 小的 X_2 与大的 X_3 组合 W_2 最小。

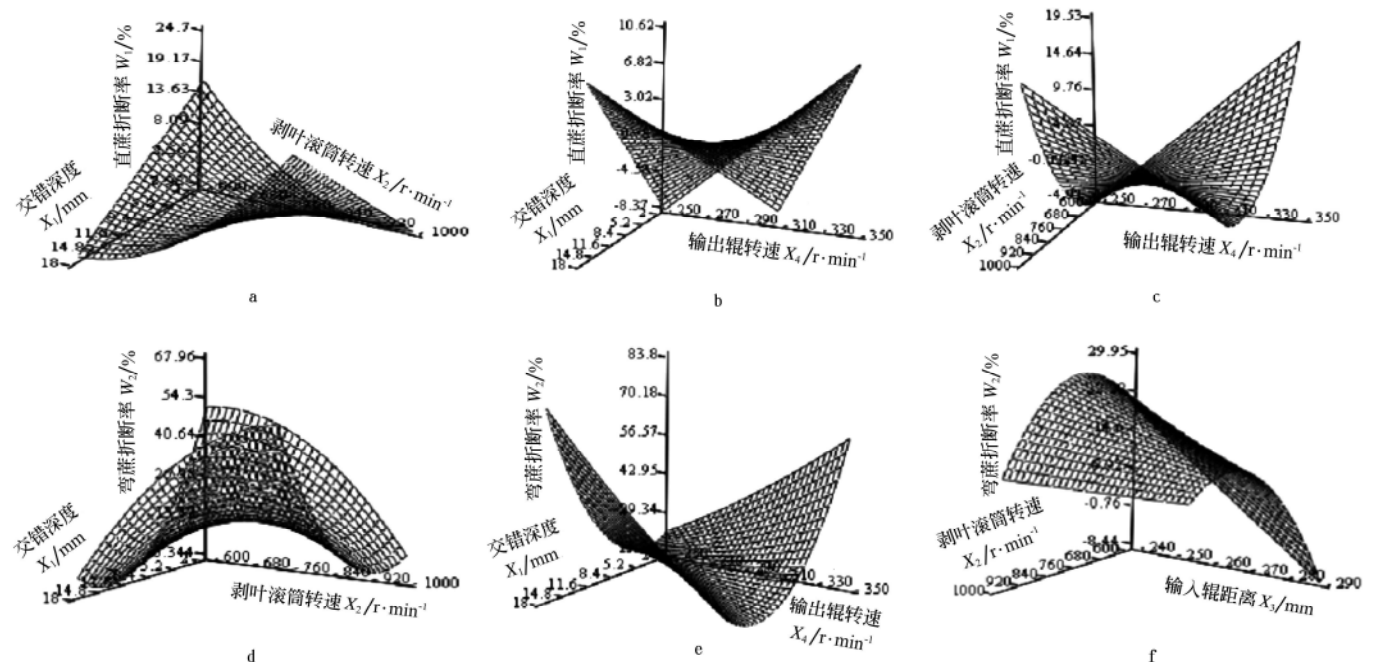


图7 因素交互作用对折断率的影响

Fig.7 Interactive effect curves of factors on the rupture rate

6 试验因素的优化

为了提高剥叶装置的综合剥叶性能,使剥叶机对直蔗和弯蔗都有较好的适应性,故以减小 Y_1 、 Y_2 、 W_1 、 W_2 为优化目标,利用 Matlab 数理统计分析软件对各性能影响因素进行综合优化^[15],获得各性能指标均较小时的因素优组合为: $X_1=8$ mm, $X_2=601$ r/min, $X_3=288$ mm, $X_4=250$ r/min。在该组合下,性能指标 $\hat{y}_1=0.20\%$, $\hat{y}_2=0.29\%$, $\hat{w}_1=0.12\%$, $\hat{w}_2=0.15\%$, 均达到了较好的效果,含杂率和折断率可靠性为 95% 的总区间分别为 (0, 0.78%) 和 (0, 18%), 含杂率小于 0.8%, 折断率小于 18%。在所述各条件下,室内剥叶试验验证结果为 $Y_1=0.63\%$, $Y_2=0.4\%$, $W_1=0$, $W_2=16.6\%$, 表明因素优化结果可作为甘蔗剥叶机设计依据。

7 结论

1) 剥叶滚筒转速 X_2 、输入辊距离 X_3 、输出辊转速 X_4 对直蔗含杂率的影响显著;剥叶元件交错深度 X_1 、剥叶滚筒转速 X_2 、输出辊转速 X_4 对弯蔗含杂率都有影响;剥叶元件交错深度 X_1 、剥叶滚筒转速 X_2 、输入辊距离 X_3 、输出辊转速 X_4 对直蔗和弯蔗折断率均有不同程度的影响; X_1 与 X_2 、 X_1 与 X_4 、 X_2 与 X_4 的交互作用对剥叶质量影响大。各试验因素对直蔗和弯蔗剥叶质量的影响规律存在较大差异;相同条件下,直蔗含杂率大于弯蔗含杂率,直蔗折断率小于弯蔗折断率。

2) 在试验因素的取值范围内,当 $X_1=2$ mm 时,随着 X_2 的减小或 X_4 的增大,弯蔗的含杂率 Y_2 降低;当 $X_2=600$ r/min 时,随着 X_4 的增大, Y_2 降低; $X_1=2$ mm 时,随着 X_2 的增大或 X_4 减小,直蔗折断率 W_1 降低;当 $X_1=18$ mm 时,随着 X_2 的减小或 $X_2=600$ r/min 时,随着 X_4 的减小、 $X_2=1000$ r/min 时,随着 X_4 的增大,直蔗折断率 W_1 降低;当 $X_1=2$ mm 时,随着 X_2 的增大或 $X_1=18$ mm 时,随着 X_2 的减小,弯蔗折断率 W_2 降低;当 $X_1=18$ mm 时,随着 X_4 的增大或 $X_2=600$ r/min 时,随着 X_3 的增大, W_2 降低。

3) 交错深度为 $X_1=8$ mm、剥叶滚筒转速为 $X_2=601$ r/min、输入辊距离为 $X_3=288$ mm、输入辊转速 $X_4=250$ r/min 时,可靠性为 95% 的总区间:含杂率为 (0, 0.78%), 折断率为 (0, 18%), 综合剥叶质量较好。

[参考文献]

- [1] Srivastava A C. Development of a power-driven sugarcane detrapper[J]. AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 1990, 21(2): 49-52.
- [2] ShuKla L N. Design development and testing of sugarcane cleaner[J]. AMA, 1991, 22(3): 55-58.
- [3] 张玉萍, 苏文桂, 李尚平, 等. 基于可视化虚拟设计的甘蔗剥叶机开发研究[J]. 机械设计, 2003, 20(9): 26-30. Zhang Yuping, Su Wengui, Li Shangping, et al. Research and development of sugarcane peeling machine based on visualized virtual design[J]. Journal of machine design, 2003, 20(9): 26-30. (in Chinese with English abstract)
- [4] 蒙艳玫, 李尚平, 刘正士, 等. 甘蔗收获机械剥叶元件优

化设计方法的研究[J]. 中国机械工程, 2003, 14(11): 901-904.

Meng Yanmei, Li Shangping, Liu Zhengshi, et al. Research on a kind of optimum design method for cleaning element of sugarcane harvester[J]. Journal of China Mechanical Engineering, 2003, 14(11): 901-904. (in Chinese with English abstract)

- [5] 商杭秋, 区颖刚. 用计算机图像分析方法研究甘蔗剥叶机理[J]. 华南农业大学学报, 2000, 21(4): 81-84. Shang Hangqiu, Ou Yinggang. Application of computer image technology on principle of sugarcane dettrashing[J]. Journal of South China Agricultural University, 2000, 21(4): 81-84. (in Chinese with English abstract)
- [6] 蒙艳玫, 李尚平, 刘正士, 等. 小型甘蔗剥叶机的设计方法研究与开发[J]. 机械设计, 2003, 20(8): 22-24, 29. Meng Yanmei, Li Shangping, Liu Zhengshi, et al. Research and development on the designing method of small-sized sugarcane leaf peeling off machine[J]. Journal of machine design, 2003, 20(8): 22-24, 29. (in Chinese with English abstract)
- [7] 赖晓, 梁式, 杜刘林, 等. 基于 ADAMS 的甘蔗收获机剥叶元件装夹方式分析[J]. 农机化研究, 2008, (1): 23-27. Lai Xiao, Liang Shi, Du Liulin, et al. Analysis on helical arrangement of sugarcane cleaning components based on ADAMS[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, (1): 23-27. (in Chinese with English abstract)
- [8] 杨尚平, 杨晓玉, 赵斌, 等. 中空轴爪式甘蔗剥叶机的研究开发[J]. 机电产品开发与创新, 2007, 20(3): 66-67. Yang Shangping, Yang Xiaoyu, Zhao Bin, et al. The research and development of machine of disposing of sugarcane leaves which is hollow shaft claw style[J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products, 2007, 20(3): 66-67. (in Chinese with English abstract)
- [9] 黄瑞, 梁式, 单兰, 等. 甘蔗剥叶机剥叶元件螺旋装夹方式的试验研究[J]. 农机化研究, 2007, 4: 99-101, 105. Huang Rui, Liang Shi, Shan Lan, et al. The helical arrangement of sugarcane's leaf cleaning components[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, 4: 99-101, 105. (in Chinese with English abstract)
- [10] 麻芳兰, 李尚平, 何玉林, 等. 基于神经网络的甘蔗收获机剥叶元件性能研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(7): 69-73. Li Shangping, Ma Fanglan, He Yulin, et al. Performance analysis on cleaning element of sugarcane harvester based on neural network[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(7): 69-73. (in Chinese with English abstract)
- [11] 高梦祥, 杨中平. 玉米秸秆的冲击式茎叶分离试验研究[J]. 农业机械学报, 2003, 34(2): 40-42. Gao Mengxiang, Yang Zhongping, Guo Kangquan. Experimental study on shocked separation of stalks and leaves of cornstalk[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(2): 40-42. (in Chinese with English abstract)
- [12] 王光炬, 杨坚, 梁兆新, 等. 小型甘蔗剥叶机剥叶质量影响因素的试验研究[J]. 农机化研究, 2006, 12(12): 142

- 145.
- Wang Guangju, Yang Jian, Liang Zhaoxin, et al. Experiment study of the factors influence on the sugarcane detrashing quality of sugarcane detrashing machine[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2006, 12(12): 142—145. (in Chinese with English abstract)
- [13] 蒙艳玫, 李尚平, 麻芳兰, 等. 甘蔗收获机械排刷式剥叶元件虚拟试验分析[J]. *农业机械学报*, 2003, 34(4): 43—46.
- Meng Yanmei, Li Shangping, Ma Fanglan, et al. Virtual experiment analysis of brush shape of cleaning element for sugarcane harvester[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2003, 34(4): 43—46. (in Chinese with English abstract)
- [14] 杨 坚, 梁兆新, 王汝贵, 等. 甘蔗切割器切割质量影响因素的试验研究[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(5): 60—64.
- Yang Jian, Liang Zhaoxin, Mo Jianlin, et al. Experimental research on factors affecting the cutting quality of sugarcane cutter[J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(5): 60—64. (in Chinese with English abstract)
- [15] 黄丽丽. 甘蔗剥叶机剥叶质量影响因素的试验研究[D]. 南宁: 广西大学, 2008.
- Huang Lili. *Experimental Research on Factors Affecting the Detrashing Quality of the Sugarcane detrasher*[D]. Nanning: Guangxi University, 2008. (in Chinese with English abstract)

Experiment on the factors affecting the detrashing quality of the straight and bending sugarcane

Yang Jian¹, Huang Lili², Yang Wang¹, Liang Zhaoxin³, Mo Jianlin³

(1. College of Mechanical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. Guangxi Yuchai Special Automobile Co., Ltd, Nanning 530003, China;

3. Guangxi Research Institute of Agricultural Machinery, Nanning 530001, China)

Abstract: Using straight sugarcane and bending sugarcane as subject investigated, an indoor simulative experiment of sugarcane detrashing was carried out on the main factors which affected the detrashing quality, by means of the quadratic general rotary unitized design, statistical analysis and computer optimization technique. And the corresponding mathematical model was established. The influence law and mechanism of the factors and their interaction on the detrashing quality were analyzed, and the respective optimization combination of main factors was gained. The results indicated that the influence law of experimental factors on the detrashing quality of the straight and bending sugarcane had large difference. The combined optimization results of experimental factors increased the detrashing quality effectively, and the impurity rate and rupture rate of straight sugarcane is 0~0.78% and 0~8.43%, the impurity rate and rupture rate of bending sugarcane is 0~0.5% and 0~18%.

Key words: rate of impurities, mathematical models, optimization, sugarcane detrasher, rupture rate